

## PENGENDALIAN LUMPUR PADA TANGKI KLARIFIER IPAL LABORATORIUM

Handaru Bowo Cahyono<sup>1)</sup>, Rieke Yulastuti

Balai Riset dan Standardisasi Industri Surabaya, Kementerian Perindustrian

### ABSTRACT

The sludge from suspended solids in the Clarifier tank in the laboratory wastewater treatment plant (IPAL) is a product of the process of reducing various dissolved metal contaminants in liquid waste which are bound as hydroxides. Research on the control of sludge accumulation in the settling tank has been carried out to determine the impact it has on the quality of the supernatant / overflow effluent. From this research, it was found that there was an increase in the concentration of suspended solids in the supernatant effluent of liquid waste on days 40 and 60, SS concentrations reached 39.85 mg / L (662%) and 79.89 mg / L (1427%). This occurs because the accumulated TSS in the clarifier tank has exceeded the specified design parameters. The pH of the Clarifier effluent also shows good stability to the inlet, which is in the range of 8.1 to 8.3. To maintain the quality of the process, the sludge must be controlled by disposal to a sludge concentrating tank with an accumulation time of about 40 days.

Keywords: clarifier tank, suspended solids, laboratory wastewater

### I. PENDAHULUAN

Telah tercantum dalam UU No.32 tahun 2009 Undang-Undang Republik Indonesia “Tentang Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup” bahwa setiap orang yang melakukan pencemaran dan/atau perusakan lingkungan hidup wajib melakukan penanggulangan pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup. Keberadaan laboratorium uji mutu independent dewasa ini mulai dianggap penting sebagai partner industri dalam upaya memperoleh informasi, mempertahankan maupun meningkatkan mutu produk yang dihasilkan. Bahkan lebih jauh beberapa industri memanfaatkan jasa laboratorium uji ini untuk kepentingan monitoring pengelolaan limbah yang dihasilkannya. Informasi hasil uji yang diperoleh dari laboratorium ini diharapkan dapat dipertanggungjawabkan untuk berbagai kepentingan industri baik untuk kepentingan hukum, bisnis maupun untuk kepentingan lainnya. Untuk dapat menyajikan hasil yang berkualitas sesuai harapan customernya, maka laboratorium uji berupaya melakukan pengelolaan sistem manajemen mutunya sesuai ISO/IEC 17025 dimana didalamnya diatur tentang pengelolaan terhadap manajemen, sumberdaya, infrastruktur, peralatan uji, dll. Salah satu hal penting dalam infrastruktur yang harus dipenuhi adalah melengkapi fasilitasnya dengan Instalasi Pengolah Air Limbah (IPAL), sehingga bahan cemar dalam buangan limbah hasil kegiatannya dapat diminimalisir seoptimal mungkin dan aman dibuang ke lingkungan.

Sumber utama limbah cair laboratorium uji umumnya berasal dari buangan sisa bahan uji / sample pengujian, air cucian peralatan dan pemusnahan contoh uji yang telah habis masa simpannya, sementara sisa reagen kadaluwarsa dikelola dengan cara yang berbeda.

Limbah cair buangan laboratorium uji umumnya memiliki karakteristik kandungan logam terlarut dan konsentrasi yang cukup beragam misalnya Perak (Ag), Timbal (Pb), Merkuri (Hg), Besi (Fe), Kromium (Cr), Nikel (Ni) serta Seng (Zn). Selain itu limbah cair juga mengandung bahan cemar organik yang diindikasikan dengan angka BOD, ammonia, nitrit dan nitrat.

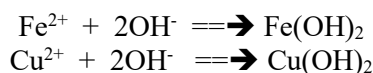
Penelitian terhadap hubungan parameter BOD terhadap Amonia ( $\text{NH}_4^+$ ) Nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ) dan Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) Pada Pengolahan Limbah Laboratorium. Parameter ini hadir dari hasil pengujian-pengujian terhadap material pangan maupun bahan pangan yang mengandung karbohidrat, protein dan lemak. Dari hasil penelitian tersebut menyimpulkan bahwa terdapat hubungan antara kadar BOD dengan ammonia, nitrit maupun nitrat [7].

Rangkaian proses pengolahan Instalasi Pengolah Air Limbah (IPAL) dapat terdiri dari satu atau kombinasi pengolahan baik pengolahan secara fisika, kimia maupun biologi yang dapat terbagi dalam beberapa zona yaitu *preliminary treatment*, *primary treatment*, *secondary treatment*, *advanced treatment*, *final treatment* dan *solid processing (sludge management)*. Pada tahap *primary treatment* akan disisihkan berbagai material secara fisika serta penambahan bahan kimia koagulan dan flokulan pada tangki berpengaduk [3].

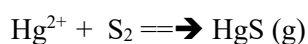
---

<sup>1</sup> Korespondensi penulis: Handaru Bowo Cahyono, [handaru\\_bc@yahoo.com](mailto:handaru_bc@yahoo.com)

Reduksi logam terlarut dalam limbah cair dilakukan dengan penambahan Aluminium Sulfat yang disusul dengan alkali disertai pengadukan pada putaran rendah sehingga akan membentuk suatu flock hidroksida logam



Pengendapan Merkuri dilakukan dalam bentuk sulfida, sering kali masih ditemukan residu merkuri dengan konsentrasi yang cukup besar. Hal ini disebabkan karena reduksi senyawa menjadi bentuk logam merkuri oleh sulfida, sebagian merkuri tidak dapat membentuk senyawa sulfida yang tak larut dalam air. Merkuri dapat larut dalam air sekitar 25 µg/l. Reaksi pembentukan merkuri sulfide [8].



Pada proses *secondary* umumnya dilakukan pengolahan secara biologi dan pada bagian terakhir dapat diberikan desinfeksi. Pengendalian proses merupakan salah satu hal penting yang berpengaruh dalam tingkat keberhasilan pengolahan limbah cair. Sehingga suatu instalasi pengolah air limbah perlu memiliki personel yang terlatih selain tatakelola operasi termasuk jadwal / program pengendalian yang konsisten dan terdokumentasi dengan baik. Keberadaan instalasi yang lengkap tanpa disertai dengan pengendalian proses yang baik tidak akan membawa hasil positif bagi pengelolaan limbah cair. Salah satu tatakelola pengendalian proses pengolahan limbah cair adalah konsistensi dalam pengendalian konsentrasi endapan lumpur yang tersedimentasi pada *bottom Clarifier*. *Clarifier* adalah salah satu unit IPAL yang berfungsi sebagai unit sedimentasi zat padat tersuspensi (*suspended solid*) sehingga padatan tersuspensi tidak terikut pada *overflow*.

Pengendalian konsentrasi / volume zat padat tersuspensi pada *Clarifier* sangat penting untuk menjaga kualitas *overflow Clarifier* untuk proses lanjutan dalam pengolahan limbah cair. Inkonsistensi dalam proses pengendalian sedimen lumpur yang terbentuk pada *Clarifier* berpotensi menurunkan kualitas *outlet* limbah cair karena meningkatnya beberapa parameter cemar yang lain sehingga proses pengolahan limbah cair (pengolahan secara biologi) akan menjadi semakin berat. Amonia, Nitrat dan Nitrit adalah beberapa bahan cemar yang dapat mengindikasikan kualitas proses IPAL maupun perairan.

Kadar amoniak yang tinggi pada perairan mengindikasikan telah terjadinya pencemaran pada perairan tersebut. Amoniak berasal dari nitrogen organik yang diuraikan oleh organisme heterotrop, yaitu organisme yang membutuhkan nutriendnya dalam bentuk senyawa organik dan memperoleh energi dengan cara mengoksidasi senyawa organik tersebut. Pada outlet IPAL, kadar Amonia, Nitrat dan Nitrit dibatasi sesuai Baku Mutu Limbah Cair Pergub. Jatim No. 72 Tahun 2013 [1]. Tujuan penelitian ini adalah untuk melihat potensi dampak yang ditimbulkan oleh inkonsistensi pengendalian sedimentasi zat padat tersuspensi pada tangki pengendapan (*Clarifier*).

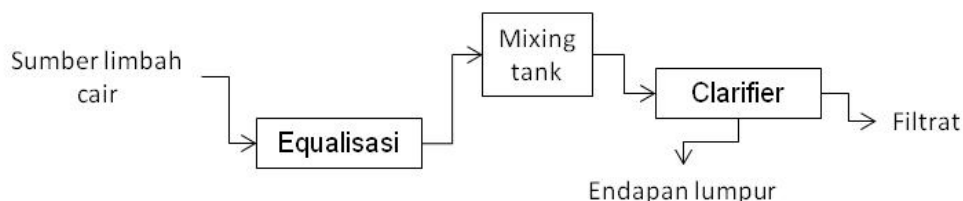
## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan selama 6 bulan pada tahun 2017 menggunakan fasilitas IPAL milik Baristand Industri Surabaya. Untuk tahap persiapan dilakukan pembersihan dan pengosongan unit tangki pencampur (*mixing tank*), tangki pengendapan (*clarifier*) dan tangki pemekat lumpur.

Pembentukan hidroksida logam dilakukan di tangki *mixing* dengan menambahkan Aluminium Sulfat, NaOH serta flokulan disertai pengadukan pada putaran rendah. Akumulasi material lumpur yang terbentuk dilakukan pada *bottom Clarifier* dilakukan setiap hari. Pengamatan dilakukan selama 60 hari dengan pengambilan contoh uji *effluent clarifier* pada hari ke - 1 ; 20 ; 40 dan terakhir pada hari ke 60. Pengambilan contoh uji untuk *inlet* hanya dilakukan 1 kali yaitu pada awal penelitian (sebelum masuk Equalisasi).

Peralatan yang diperlukan antar lain wadah beaker glass, gelas ukur, penampung limbah cair, thermometer, pH meter, oven pengering, neraca analitis.

Konsentrasi zat padat tersuspensi dalam aliran *inlet* digunakan sebagai asumsi dan basis hitung untuk akumulasi TSS. Parameter uji *outlet Clarifier* meliputi parameter: TDS, TSS, pH, Fe, Mn, Ba, Cu, Zn. Cara uji TDS dan TSS menggunakan metoda gravimetric mengikuti SNI 06-6989.3-2004. Sementara untuk untuk cemar logam menggunakan metoda AAS. Skema aliran limbah cair & proses pengendapan lumpur dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Pengolahan Limbah Cair

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik konsentrasi bahan cemar dalam aliran limbah cair masuk (*inlet*) IPAL laboratorium uji kualitas produk bersifat sangat fluktuatif dan bergantung pada beberapa faktor yaitu jumlah serta jenis contoh uji yang diperiksa. Aktivitas pengujian terhadap berbagai komoditas produk industri pangan, minuman, mineral / bahan tambang, bahan kimia lainnya yang dilakukan setiap hari dengan metoda baku yang telah ditetapkan. Rangkaian pengujian terhadap contoh uji dilakukan untuk mengetahui kesesuaiannya terhadap standar yang telah ditetapkan pemerintah. Hal ini akan berpengaruh terhadap jumlah maupun reagen yang digunakan untuk pemeriksaan contoh uji.

Konsentrasi bahan cemar *inlet* semakin meningkat tajam ketika dilakukan kegiatan pembuangan sisa contoh uji yang telah kadaluwarsa (habis masa simpannya). Sisa contoh uji limbah cair yang telah habis masa simpannya harus segera dimusnahkan dengan cara dibuang pada saluran pembuangan yang pada akhirnya bermuara juga di kolam Equalisasi. Buangan dengan konsentrasi tinggi tersebut akan bercampur dengan limbah cair dari beberapa sumber buangan proses uji yang lain dalam kolam Equalisasi untuk proses penyeragaman karakteristik dan menunggu proses pengolahan lanjutan dilakukan yaitu reduksi dan perombakan berbagai bahan cemaran terlarut [5].

Dari data sekunder hasil pengujian inlet IPAL diperoleh informasi karakteristik limbah cair pada inlet kolam Equalisasi dengan kandungan Zat padat terlarut (TDS) 1.170 mg/L ; Zat padat tersuspensi (*suspended solid*) 970 mg/L ; Fe 45,79 mg/L; Mn 3,83 mg/L; Ba 0,89 mg/L; Cu 5,08 mg/L, Zn 5,91 mg/L; Cr 0,7 mg/L; Pb 0,17 mg/L; Sulfida 0.035 mg/L; Amonia bebas (NH<sub>3</sub>-N) 0,17 mg/L; Nitrat (NO<sub>3</sub>-N) 1,56 mg/L; Nitrit (NO<sub>2</sub>-N) <0,0042 mg/L sementara BOD 69,93 mg/L dan pH 5,78.

Setelah mengalami proses penyeragaman karakteristik di kolam Equalisasi maka limbah cair selanjutnya dialirkan dengan dipompa menuju tangki pereaksi untuk pengikatan material padatan tersuspensi dan mereduksi berbagai kation cemaran logam terlarut. Larutan tawas (Aluminium sulfat) pada umumnya digunakan dalam proses ini karena memberikan hasil yang cukup baik. Tawas dapat mengurangi zat – zat tersuspensi yang terdapat dalam limbah, baik bahan kimia organik maupun anorganik. Dijelaskan juga bahwa dengan terjadinya penurunan kadar bahan kimia organik maupun anorganik tersebutlah berpotensi mampu menurunkan nilai COD pada limbah. Hal ini disebabkan oleh karena aktifitas kation Al pada tawas (Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>) akan mengalami reaksi hidrolisis untuk membentuk spesies Al terlarut atau endapan aluminium hidroksida [6].

Lebih jauh Mia Audiana dkk. 2017 menjelaskan tentang penelitian yang dilakukannya terhadap limbah cair laboratorium uji dengan penambahan tawas mampu menurunkan kadar besi dan timbal dalam limbah cair hingga masing-masing sekitar 62,25 % dan 71,13%. Namun dia menambahkan bahwa penambahan tawas akan berdampak terhadap penurunan angka keasaman limbah cair. Proses pengolahan yang dilangsungkan secara kontinyu ini akan menghasilkan hidroksida logam yang juga akan terbentuk secara kontinyu [6].

Berbagai senyawaan hidroksida logam dalam fasa padatan tersuspensi mengalir meninggalkan tangki pereaksi menuju *Clarifier* untuk tujuan pengendapan padatan tersuspensi yang baru saja terbentuk maupun yang telah ada sebelumnya yaitu dari contoh uji maupun hasil reaksi kimia di kolam equalisasi. Limbah cair dengan kandungan logam terlarut akan membentuk senyawaan padatan tersuspensi yang telah mulai terjadi pada kolam equalisasi dimana klorida (Cl<sup>-</sup>) mampu mengikat dan mengendapkan kation logam yang terdapat dalam limbah cair yaitu Perak (Ag), Timbal (Pb) dan Merkuri (Hg) dalam suasana asam. Sejumlah padatan tersuspensi selanjutnya akan mengendap di dasar kolam *Clarifier*. Efisiensi proses pengendapan pada *Clarifier* mampu mencapai angka lebih dari 90% [10].

Data primer *inlet* limbah cair kolam Equalisasi menunjukkan kualitas yang tidak berbeda jauh dari kondisi limbah cair dalam kolam Equalisasi pada data sekunder yaitu konsentrasi padatan tersuspensi 612,2 mg/L ; Fe 25,79 mg/L; Mn 4,71 mg/L; Cu 4,22 mg/L, Zn 4,54 mg/L; Cr 0,1 mg/L; Pb 0,1 mg/L dan pH 5,31 [5]. Beberapa data ini (Tangki *Clarifier*) lebih tinggi dari data sebelumnya karena dimungkinkan telah

terdapat akumulasi konsentrasi di kolam equalisasi sehingga ketika terambil merupakan campuran dari limbah baru dan limbah lama.

Filtrat jernih (*supernatant*) didisain meninggalkan *Clarifier* dengan membawa zat padat tersuspensi dengan konsentrasi maksimal 50 mg/liter (parameter disain internal). Tindakan pengendalian proses yaitu pengurangan jumlah atau pembuangan endapan lumpur pada bagian *bottom* dilakukan jika filtrat jernih telah mengandung padatan tersuspensi yang melampaui ambang batas disain pengolahan. Pembuangan lumpur dilakukan dengan membuka *bottom valve* sehingga lumpur mengalir menuju unit *thickener* secara hidrostatik.

Inkonsistensi dalam proses pengurangan sedimen lumpur yang terbentuk pada dasar kolam *Clarifier* berpengaruh terhadap meningkatnya jumlah padatan tersuspensi dan parameter cemar lainnya pada limpahan limbah cair (*overflow*). Dari hasil pengujian terhadap *overflow / outlet* limbah cair tangki *Clarifier* pertama pada penelitian ini ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik *outlet Clarifier-1*

Parameter uji	Hari ke-1	Hari ke-20	Hari ke-40	Hari ke-60
Zat padat terlarut (mg/L)	790	820	1021	1102
Zat padat tersuspensi (mg/L)	5,23	15,32	39,85	79,89
pH	8,1	8,1	8,3	8,3
Besi (Fe) (mg/L)	14,723	7,322	7,654	9,642
Mangan (Mn) (mg/L)	0,211	0,810	0,117	0,981
Barium (Ba) (mg/L)	0,34	0,561	0,712	0,621
Tembaga (Cu) (mg/L)	1,243	2,101	0,85	1,221
Seng (Zn) (mg/L)	4,981	8,712	5,658	9,919

Pada Tabel 1 dapat dilihat perubahan karakteristik *outlet* limbah cair yang meninggalkan tangki *Clarifier* dari waktu ke waktu yang menunjukkan kecenderungan peningkatan konsentrasi bahan cemar pada beberapa parameter uji. Jumlah padatan tersuspensi yang mengendap pada *bottom clarifier* selama 60 hari mengalami peningkatan. Hal ini dapat dilihat dari perubahan karakteristik *overflow* yang mengalami peningkatan kadar TSS sebesar 14,2% dari konsentrasi awal yang hanya sebesar 5,23 mg/L. Artinya pada akhir penelitian terdapat 79,89 mg padatan tersuspensi turut mengalir untuk setiap 1 L aliran filtrate jernih (*supernatant*) yang terbuang atau masuk pada unit selanjutnya.

Hal ini menunjukkan bahwa proses sedimentasi pada unit *Clarifier* pada masa awal penelitian berlangsung dengan baik dan mampu menurunkan kadar padatan tersuspensi dengan efisiensi yang tinggi, namun pada akhirnya proses pengendapan berlangsung semakin tidak optimal sehingga terjadi peningkatan konsentrasi padatan tersuspensi pada *overflow* limbah cair yang semakin hari semakin.

Proses sedimentasi adalah suatu proses pemisahan solid – liquid menggunakan prinsip gravitasi. Padatan tersuspensi dalam segala ukuran, bentuk, dimensi dan bahan yang tidak mampu terlarut dalam air limbah dapat terdiri dari lumpur, bahan-bahan organik yang tidak larut dan belum mengalami proses pembusukan, tumbuhan air, dll. Proses sedimentasi dapat berlangsung secara kontinu dimana slurry yang masuk dan cairan bening yang keluar pada saat yang bersamaan. Saat kondisi steady state, maka ketinggian cairan akan selalu tetap. Kecepatan sedimentasi didefinisikan sebagai laju pengurangan atau penurunan ketinggian (h) daerah batas antara *slurry* (endapan) dan *supernatant* (liquid jernih) pada suhu seragam untuk mencegah pergeseran fluida karena konveksi. Sedangkan waktu (s) yang dibutuhkan oleh partikel berbanding lurus dengan kedalaman saluran (m) dan berbanding terbalik dengan kecepatan pengendapan partikel (m/s). Sehingga semakin pendek jarak pengendapan partikel maka waktu pengendapan juga akan semakin singkat yang berimplikasi terhadap terikutnya partikel pada aliran [9].

Hal ini terjadi karena sebagian dari volume tangki *Clarifier* yaitu bagian kerucut (konis) bawah telah terisi oleh massa sedimen padatan tersuspensi. Jika basis hitung data primer dengan konsentrasi beban cemar padatan tersuspensi konstan sebesar 612,2 mg/L per hari sementara konsentrasi maksimal effluent yang diijinkan hanya 50 mg/L, maka pada hari ke 20 ( $H_{20}$ ) akan terdapat sebanyak 6.410 gram (6,41 kg) padatan tersuspensi termasuk 290,27 gram hidroksida logam yang dihitung secara stoikiometri ( $M_{20}$ ) dan akan semakin meningkat menjadi 12,18 kg termasuk 870,8 gram hidroksida logam dihitung secara stoikiometri ( $M_{60}$ ) dalam waktu 60 hari. Dengan luas area *Clarifier* yang konstan  $A \text{ m}^2$ , maka selama 60 hari telah terjadi perubahan massa lumpur atau volume lumpur (V) yang mengendap pada dasar tangki *Clarifier* dimana  $M_{60} > M_{40} > M_{20}$  atau  $V_{60} > V_{40} > V_{20}$ . Sehingga terjadi laju penambahan ketinggian (h) menjadi  $h_{60} > h_{40} > h_{20}$ .

karena  $V_{\text{sludge}} = A \times h$ . Walaupun padatan tersuspensi yang teresedimen tersebut tidak massif namun akan menempati sebagian ruang pada unit *Clarifier* sehingga ketinggian cairan jernih / *supernatant* ( $h'$ ) semakin hari akan semakin berkurang  $h'_{60} < h'_{40} < h'_{20}$  yang pada akhirnya berdampak terhadap terikutnya padatan tersuspensi terikut dalam aliran *overflow clarifier*.

Dari Tabel 1 dapat diamati bahwa tidak terjadi perubahan yang signifikan terhadap konsentrasi logam pada *overflow Clarifier* sejak pengamatan hari ke-1; 20; 40 hingga hari ke-60. Konsentrasi logam terlarut pada limbah cair telah mengalami penurunan jika dibandingkan dengan *inlet* pada data primer dan cenderung konstan pada *outlet Clarifier* dari waktu-ke waktu.

Konsistensi konsentrasi cemaran logam dalam limbah cair ini disebabkan oleh kondisi pH yang terkendali dan stabil di kisaran pH 7.8 hingga 8.3 pada tangki *Clarifier* yang merupakan prasyarat kondisi operasi pada tangki pereaksi ke-2. Pada pH kisaran 8 konsentrasi besi (Fe) pada cairan limbah mampu mencapai  $< 0,1$  mg/Lt, sementara konsentrasi tembaga (Cu) maks.  $\pm 0,2$  mg/liter, sementara konsentrasi seng (Zn) pada pH 8 masih di atas 8 mg/liter [10]. Kondisi ini berdampak pada kesetabilan konsentrasi logam-logam terlarut dalam kisaran yang sempit walaupun konsentrasi bahan cemar pada *inlet* sangat tinggi dan berakibat terhadap optimalnya proses reduksi logam terlarut pada limbah cair.

Pengelolaan limbah cair akan dilanjutkan dengan pengolahan secara proses biologi aerobik sehingga kadar bahan cemar memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan Baku Mutu Limbah Cair Pergub No. 72 Tahun 2013. Baku Mutu Bagi Kegiatan Industri Lain Golongan II Baku Mutu Air Limbah yaitu kadar Ammonia maks. 5 mg/L, Nitrat maks. 30 mg/L dan Nitrit maksimal 3 mg/L.

#### 4. KESIMPULAN

Telah dilakukan penelitian pengaruh akumulasi padatan tersuspensi (TSS) pada tangki *Clarifier* IPAL laboratorium selama 60 hari untuk mengamati potensi peningkatan kadar beberapa bahan cemar dalam limbah cair buangan sisa proses pengujian komoditas produk atau limbah cair industry. Terjadi peningkatan kadar padatan tersuspensi pada *overflow* tangki *Clarifier* pada pengamatan hari ke 20, 40 dan 60. Pada pengamatan hari ke 40, kadar padatan tersuspensi sebesar 15,32 mg/L, mengalami peningkatan jika dibanding kondisi hari pertama yang hanya sekitar 5,23 mg/L, sementara pada hari ke 40 telah meningkat menjadi 39,85 mg/L dan pada hari ke 60 meningkat menjadi 79,89 mg/L yang artinya telah melampaui konsentrasi maksimal yang ditetapkan untuk *overflow Clarifier* pertama. Untuk tetap mempertahankan kualitas proses maka lumpur harus dikendalikan dengan cara pembuangan ke tangki pemekat lumpur dengan kisaran waktu akumulasi sekitar 40 hari.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim, "Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013, tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya di Jawa Timur", 2013.
- [2] Anonim, "Wastewatertreatment, <https://thewaterproject.org/resources/high-school-lesson-plans/wastewatertreatment.pdf>", didownload pada 20 September 2018
- [3] Arun Kumar, Dr., 2016, "Wastewater Treatment Processes", Sep 12th-15th, 2016, [http://web.iitd.ac.in/~arunku/files/CVL100\\_Y16/LecSep1220.pdf](http://web.iitd.ac.in/~arunku/files/CVL100_Y16/LecSep1220.pdf)
- [4] Hafni, "Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan", Kanisius – Yogyakarta, 2013.
- [5] Handaru B. Cahyono, dkk. "Pengaruh Klorida Pada Logam (Ag, Pb, Hg, Fe, Cr, Ni, Zn) Terhadap Sedimentasi Di Kolam Equalisasi IPAL", Jurnal Riset Teknologi Industri Vol 10 No.2 Desember 2016, Hal 94 – 104, 2016.
- [6] Mia Audinia, Isna Apriani, dkk. "Pengolahan Limbah Cair Laboratorium Teknik Lingkungan Dengan Koagulasi dan Adsorpsi Untuk Menurunkan COD, Fe dan Pb", Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah, Vol.1 No.1 (2017), Universitas Tanjungpura, Pontianak. <http://jurnal.untan.ac.id/index.php/jmtluntan/article/view/18012>, 2017.
- [7] Rambe, "Kajian Perilaku Hubungan Parameter BOD Terhadap Amonia ( $\text{NH}_4^+$ ) Nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ) dan Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) Pada Pengolahan Limbah Laboratorium". <http://litbang.kemenperin.go.id/jtt/article/view/4595>, 2017
- [8] Said, "Metoda penghilangan logam merkuri di dalam air limbah industry", <https://media.neliti.com/media/publications/246197-none-1edc5944.pdf>, 2010,
- [9] Setiyadi, "Menentukan Persamaan Kecepatan Pengendapan Pada Sedimentasi", Jurnal Ilmiah Widya Teknik. <http://journal.wima.ac.id/index.php/teknik/article/view/1454/pdf>.
- [10] Wesley Eckenfelder, "Industrial Water Pollution Control", Mc.Graw-Hill Book Company, 1986.